



TITLE:

# 航空機用エアサイクル空気調和システムの挙動解析手法に関する研究( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

佐藤, 理

---

CITATION:

佐藤, 理. 航空機用エアサイクル空気調和システムの挙動解析手法に関する研究. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21762>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	佐藤 理
論文題目	航空機用エアサイクル空気調和システムの挙動解析手法に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、旅客輸送を主目的とする民間航空機に必須の装備システムである空調システム（エアサイクル空調）のシステム挙動に関し、最新の除湿機構を用いる実機運用でも重要な問題とされる、作動空気中の水蒸気の相変化に伴う着霜・着氷と白煙発生の現象に対する解析手法を開発することを目的としている。</p> <p>第1章 諸言では、本論文の背景と概要につき述べている。対象とするエアサイクル空調は、旅客輸送を主目的とする民間航空機に必須のシステムであり、初期の与圧機体から現在に至るまで主流の方式であることを述べている。現在のエアサイクル空調では、その駆動力となるエンジンからの抽気量に大きく影響して、機体システムでの動力消費に深く関与する除湿機構が重要であることを述べ、以下の二つの研究課題を設定している。すなわち、（A）最新の除湿機構を構成するコンデンサの着霜・着氷現象をモデル化したシステム系統の挙動解析、（B）除湿後に残存した微小水滴群が空調空気とともに機内へ吹き出す際に白煙として視認される現象を定量的に扱う数値流体解析、を検討すると述べている。</p> <p>第2章 航空機用空調システムの概要では、除湿機構としては高圧除湿方式がエンジンからの抽気量を低減する方式であると述べている。この高圧除湿方式と2段に構成されたタービンを組み合わせた空調系統である4ホイール方式が、熱サイクル効率に優れることを3ホイール方式と比較した熱サイクル検討により明らかにしている。また、システムへの要求性能から、高圧除湿機構を構成するリヒータとコンデンサを含む各構成機器の能力設定に至る設計概要を述べている。</p> <p>第3章 エアサイクル空調における直交流型熱交換器では、前述の課題（A）として次章以降の議論に先立ち、直交流型熱交換器を要素ごとに細分化する解析モデルを検討している。相変化を伴う熱交換計算にも適用できるように顕熱比を用いて拡張された細分化モデルは、従来手法であるエンタルピー差による解析手法との比較も含めて、熱交換器の性能試験と照合して十分な予測精度が得られることを確認している。また、航空機用エアサイクル空調に常用されている二つのコアの近接配置に着目して、上流側熱交換での温度分布が下流側熱交換器にそのまま流入することによって、下流側熱交換の性能向上となることを解析的に示し、この影響を考慮すれば予測精度が改善されることを連結した熱交換器形態での性能試験結果との照合により確認している。これらの結果から、顕熱比を用いる解析モデルでは、温度分布を解析モデルに考慮することによって、実用的な予測精度が得られるとの知見を得ている。</p> <p>第4章 高圧除湿機構における着氷現象では、前述の課題（A）として、高圧・高温空気に含まれる水蒸気を凝縮させる高圧除湿機構のコンデンサにおける着霜・着氷現象の解析モデルを開発している。コンデンサにおける着霜・着氷現象は、①高圧側流路では氷点下の伝熱面への水蒸気拡散による着氷・着霜（地上機器用の熱交換器と同様）、②低圧側流路ではタービンの断熱膨張過程で生じた微細な凝縮水滴が氷点下の低温空気とともに伝熱面に衝突による着氷・着霜（航空機翼と類似）というエアサイクル方式の除湿機構特有の現象であることを述べている。フィン形態はオフセット・ストリップ・フィンを対象にして、伝熱および圧力損失に関する特性は、コア内流れの代表レイノルズ数とフィン形状・寸法に対する相関式を適用すると述べている。伝熱</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	佐藤 理
<p>面温度が氷点下となって着霜・着氷が生じた際の熱交換特性への影響は、①高圧側流路ではベースプレート面のみに生じた着霜表面が氷点に維持されるとして評価、②低圧側流路では均一厚さの着氷が伝熱面を覆うことによるフィン効率への影響として評価する解析モデルを開発している。</p> <p>第5章 高圧除湿システムの挙動解析では、前述の課題（A）として開発した直交流型熱交換器の解析モデルとコンデンサの着霜・着氷モデルを用いたシステム挙動解析を示している。一つ目は、4ホイル方式と3ホイル方式それぞれと組み合わせた高圧除湿機構に関して、リヒータとコンデンサの熱交換性能の相互作用による除湿性能への影響を解析的に比較検討し、4ホイル方式がより安定な除湿性能を持つことを明らかにしている。二つ目は、実機で再現したコンデンサ着霜・着氷現象と照合することにより、通常作動から着霜・着氷が堆積してシステム性能へ影響を及ぼすコンデンサ状態変化において、①伝熱特性に関する高温側（高圧側）での着霜部の温度に関する従来の陰関数モデルを用いない簡便なモデルによって低温側と同程度の満足な一致を確認し、②圧力損失に関する低温側（低圧側）コア通過時の平均的な変化特性は調整パラメータを用いずとも良く一致することを確認している。</p> <p>第6章 混合流れにおける微小水滴群の蒸発解析では、前述の課題（B）として高圧雰囲気を考慮した水滴蒸発モデルを開発して離散液滴モデルに組み込み、タービン断熱膨張過程で生成された凝縮水滴群の蒸発現象を数値流体解析により定量的に検討している。水滴蒸発モデルは、既研究の単一水滴を用いた実験結果と照合して、高温雰囲気における水滴径の時間変化、および高圧雰囲気における蒸発率ともに良い一致を得ている。機内での白煙の視認性に関しては、エアサイクル空調からの供給空気を導入したエジェクタにおいて周囲空気の吸引口を開閉させ、下流の混合ダクト内での温度上昇の有無を与えて、混合ダクト終端での白煙の消滅・生成を模擬して目視観察している。数値流体解析では、白煙の視認性に対する指標として水滴群の透過光強度に対する減衰係数に基づく視程を算定し、目視観察との照合から視程が<math>10^3</math> mオーダとなる水滴の分布状態では白煙は視認されず、視程が<math>10^2</math> mオーダとなる状態では比較的薄いものではあるが白煙として視認されると判断でき、白煙の発生状況を解析により定量的に評価できるとの知見を得ている。また、エアサイクル空調の供給空気に含まれる水滴粒子の粒径分布は、大気中の雲や霧の水滴粒径分布と異なるザウター平均径が<math>5\mu\text{m}</math>であったことから光の減衰効果が相違し、雲や霧の観測による相関式を基にした視程より短くなるとの知見を得ている。</p> <p>最後に第7章 結言において、本論文で得られた成果について要約するとともに、考えられる今後の展開を提案している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、旅客輸送を主目的とする民間航空機に必須の装備システムである空調システム（エアサイクル空調）に関し、最新の除湿機構を用いる実機運用で重要な問題とされる作動空気中の水蒸気の相変化に関連する現象に関し、高圧除湿機構を構成するコンデンサの着霜・着氷現象と空気中の水滴粒子群が白煙として視認される現象に対する解析手法を開発したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

第1章では、本論文の背景につき述べた上で研究課題の設定を行った。航空機においてエアサイクル空調自体は、従来から使用されている技術分野であるが、以下の二つの問題設定は従来の経験的な設計技術を解明するオリジナリティーの高いものである：(A) 最新の除湿機構を構成するコンデンサの着霜・着氷現象をモデル化したシステムシステムの挙動解析、(B) 除湿後に残存した微小水滴群が空調空気とともに機内へ吹き出す際に白煙として視認される現象を定量的に扱う数値流体解析。

第2章では、エンジンからの抽気量を低減する高圧除湿方式を2段に構成されたタービンと組み合わせた4ホイール方式空調系統が、効率に優れることを熱サイクル検討により明らかにした。

第3章では、まず直交流型熱交換器を要素ごとに細分化して、顕熱比を用いて拡張した相変化を含む熱交換計算モデルの妥当性を検討した。エアサイクル空調の特徴的な二つのコアの近接配置では、上流側熱交換での温度分布を考慮することによって、実験との良好な一致が得られることを確認した。

第4章では、前述の課題(A)として、高圧除湿機構のコンデンサにおける着霜・着氷現象に関し、コアを細分化した要素では均一な特性変化を及ぼすとして、システム挙動解析に必要十分なスケールでの解析モデルを開発している。

第5章では、前述の課題(A)として、直交流型熱交換器の解析モデルとコンデンサの着霜・着氷モデルを用いたシステム挙動解析が調整パラメータを用いずとも良く一致することを確認した。

第6章では、前述の課題(B)として、白煙の視認性に関して、空気中の水滴群の透過光強度に対する減衰係数に基づく視程を数値流体解析により定量評価すれば今後の設計指針を得ることができるとの重要な知見を得た。

最後に第7章において、本論文で得られた成果について要約するとともに、考えられる今後の展開を提案した。

以上要するに、本論文は、エアサイクル空調に関連した高圧除湿機構を構成するコンデンサの着霜・着氷現象と空気中の水滴粒子群が白煙として視認される現象を数値解析により解明したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年2月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。